



大型液状化再現装置による振動台実験

地震時の地盤の液状化現象が注目を浴びたのは、東京オリンピックの年の1964年に起きた新潟地震である。この地震では川岸に建てられたアパートが転倒したのを始め、多くの構造物が傾くなどの被害を受けた。海外においてはその前年の1963年のアラスカ地震で大きな液状化が起き、注目された。防災科学技術研究所の前進である国立防災科学技術研究センター（防災センター）は1963年4月創立され、1964年の新潟地震では被害調査を行い、さらに航空測量を行い、地震後の地盤変状に対し先駆的なデータを与えた。

この新潟地震の被害を契機として防災センターは大型振動台の製作に着手し、6年後の1970年に、最大出力360tonf、最大速度37.5cm/sec、最大変位 ± 3 cm、最大試験体重量500ton、水平上下切り替え方式の1方向振動台を完成させた。完成当初から土槽の実験を実施、ならびに建設省土木研究所と液状化の実験を共同して行ってきた。これら実験は土槽側壁が固定された固定土槽を使ったものであった。より現実の地盤に近い状態を振動台で再現しようと考え、土槽側壁は中の土と同じ動きをすることが望ましい。このため開発されたのが、土槽側壁を何層にも輪切りにし、層状になった側壁が中の土

につられて動くようにされた剪断土槽である。防災科学技術研究所では平成6年度から実物もしくは実物大の液状化地盤の実験を行うべく大型の剪断土槽（大型液状化再現装置）の製作に取りかかり、写真1に示す通り、平成7年度末に完成した。大型液状化再現装置は図1に示すように、水平1方向に動き、高さ6m、長さ12m（内規：11.6m）、幅3.5m（内規：3.1m）であり、20cm厚さの29段の層要素を積み上げ、層要素間にはパイプを輪切りにしたローラーが挿入され、このローラーの上を層要素が滑らかに動くように考えられている。内側には防水のため、ゴムシートが張られている。各要素間は最大10cm動くようになっており、最大1.5m動くストッパーが掛かるようになっている。さらにガイド機構が両側面に付いている。剪断土槽本体で約50ton、ガイド機構が約60tonである。なお、大型液状化再現装置が設置される大型振動台は1989年から性能が大幅に改造され、最大変位が ± 3 cmから ± 23 cmに伸び、最大瞬間速度は図2に示すように1996年に100cm/secに増強されている。

本装置を用い地下構造物の実験を行った。1978年の宮城県沖地震の杭基礎の破壊によるマンションの傾斜、新潟に於ける建物建て替え時に見られた1964

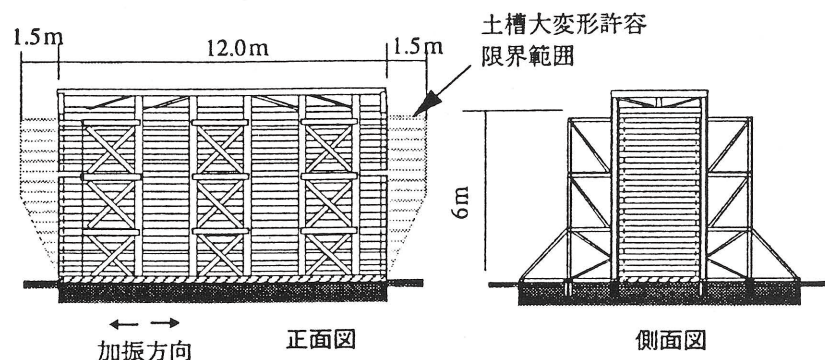


図1 大型液状化再現装置概要図

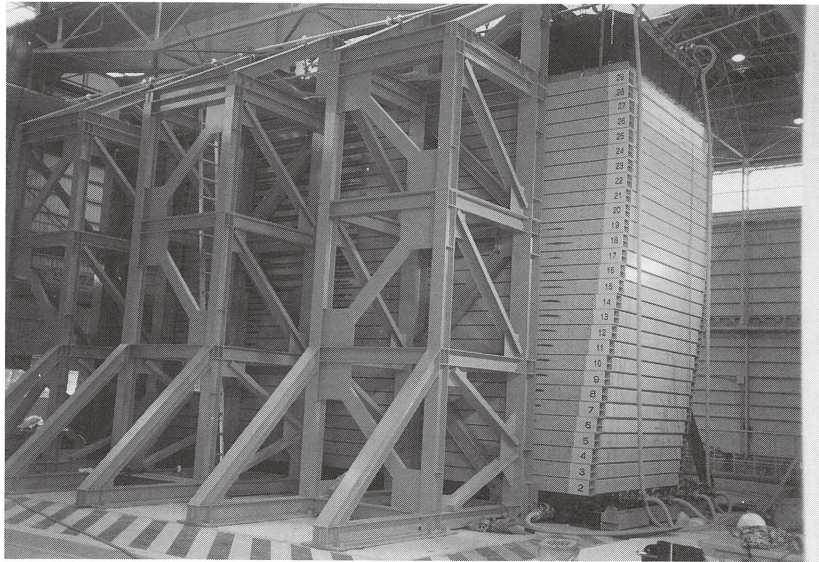


写真1 50cm以上の剪断変形をした大型液状化再現装置

性能改善前

66.6 kine
-71.5 kine



性能改善後

72.3 kine
-100.6 kine



防災科学技術研究所大型振動台最大速度が70kine (cm/sec) から100kineに増強された

図2 阪神大震災の強震記録を再現した大型振動台の速度波形

年新潟地震の液状化によると考えられる杭の破断、写真2に示す阪神大震災に於ける杭の被害等、杭の地震時被害は数多くの例がある。地盤の液状化を対象とした杭の設計規準は、今後、再考される必要があると見られている。そこで、液状化地盤での杭の実験を行うこととした。試験体は図3に示すとうり、直径30cm、長さ6mの高強度のコンクリートを使用したP H C杭4本で、内2本は剪断補強のための横筋を多くしている。杭上端は質量部にしっかりと固定されており、杭下端は土槽底板に回転自由なピンジョイントを介し取り付けられている。

飽和砂地盤（水中落下法により作成）は6mまで積み上げられ、1本の杭重量は650kg、上端の質量部は22ton、地盤部の重量は約420ton程度と推定される。実験は阪神大震災に於いて神戸ポートアイランド垂直アレイ観測で記録された地下30mのNS成分

と神戸海洋気象台NS成分を使った。最初に加振したのはポートアイランドの波を時間軸1/2にした最大350galの加振を行った。この加振では杭鉄筋に付けた歪ゲージは最大 500×10^{-6} 程度あった。次に実際にポートアイランドで記録された値（約60cm/sec）を目標に加振した。飽和砂地盤は全層液状化し、杭鉄筋の歪は 2000×10^{-6} を越えた。さらに神戸海洋気象台NSで加振した。この加振の振動台の速度は約90cm/secであり、杭鉄筋の歪はさらに大きな値を示した。写真3に液状化で吹き出し孔を示す。実験後、杭を掘り出すと、写真4に示すように杭に曲げ亀裂がほぼ等間隔に入っているのが観察された。杭頭の亀裂が若干大きいと思われる。

埋設管の実験もこの装置を用いて行っている。埋設管は地盤の変状に対し亀裂等を起こさなければ、機能が果たせる訳であり、たわみ安い管を使えば、



写真2 杭の地震被害

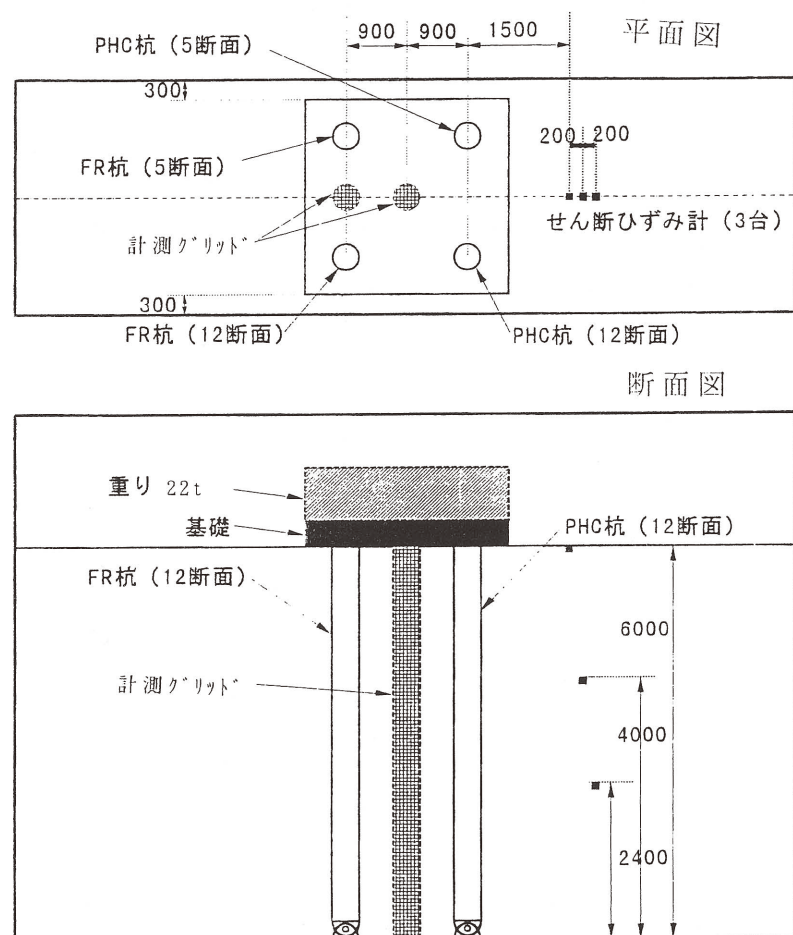


図3 PHC杭の液状化実験模式図



写真3 実験で出来た噴砂孔

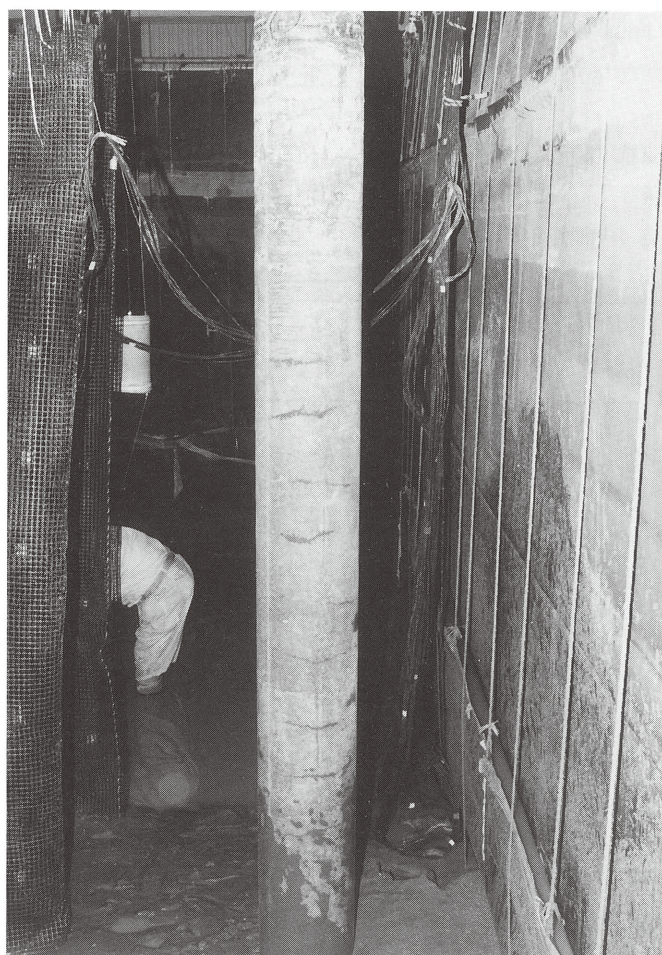


写真4 実験で亀裂の入ったPHC杭

ライフラインの地震被害は相当低減できる。しかし、大口径の剛性の高い管を使わなければならない所も数多くあり、液状化時の埋設管の挙動を調べる必要がある。今回は水道管を対象とし、図4のように直径150mmの鉄管を、変形能力をもった地震対策を施した管と、施さない管をこの装置に設置し、杭と同様の加振を行った。図5のように地震対策を施し

た管は充分な変形能力を示し、施さない管には比較的大きな力が作用したのが確かめられた。

なお、大型液状化再現装置の製作と液状化実験は東京理科大学石原研而教授、米国Wayne State UniversityのT.Kagawa教授、建築研究所、クボタ等多くの方々の協力を得て、進めている。

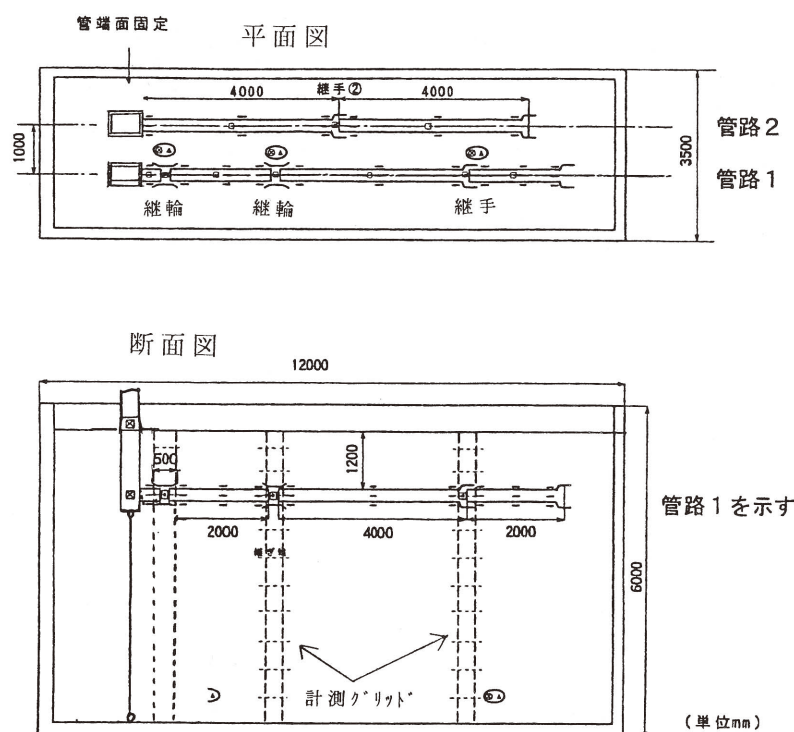


図4 埋設管の液状化実験模式図

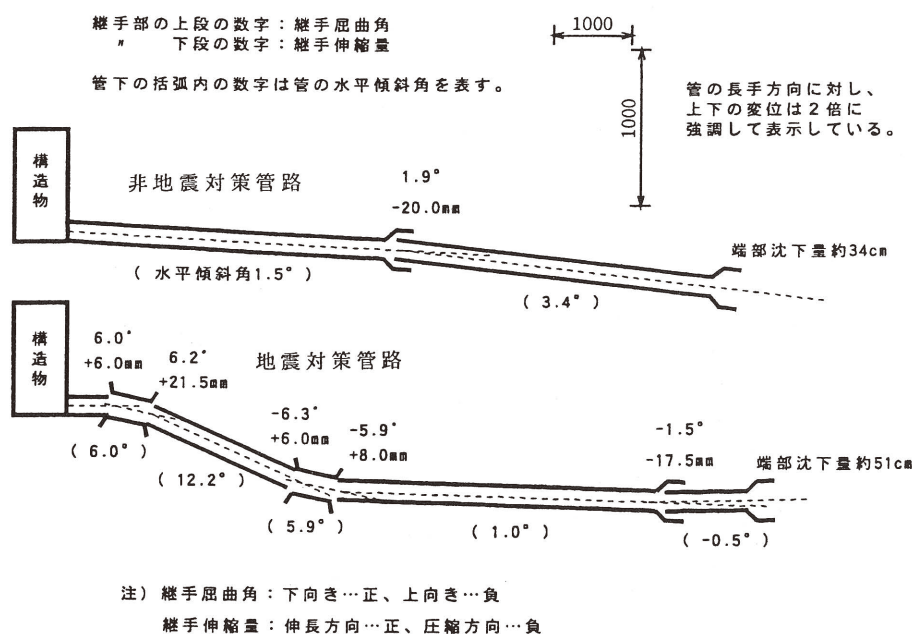


図5 実験終了後の埋設管路の変形状態（上下方向）